

7308

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



7308

ЭКЗ. ЧИТ. ЗА
Р6 - 7308

В.С.Александров, Ц.Вылов, Т.М.Муминов,
Б.П.Осипенко

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИЙ
И ИНТЕНСИВНОСТЕЙ γ -ЛУЧЕЙ
С ПОМОЩЬЮ Ge(Li) -ДЕТЕКТОРОВ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Р6 - 7308

В.С.Александров, Ц.Вылов, Т.М.Муминов,
Б.П.Осипенко

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИЙ
И ИНТЕНСИВНОСТЕЙ γ -ЛУЧЕЙ
С ПОМОЩЬЮ Ge(Li) -ДЕТЕКТОРОВ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

1. Введение

Спектрометрическая система для прецизионных измерений энергий и интенсивностей γ -лучей должна обладать высокими энергетическим разрешением, линейностью, эффективностью регистрации, а также способностью работать при высоких скоростях счета. При своей относительной простоте этим требованиям хорошо удовлетворяют спектрометры на базе полупроводниковых $Ge(Li)$ -детекторов, созданием и развитием которых обусловлены успехи ядерной спектроскопии в последние годы. Ниже рассматривается методика измерения энергий и интенсивностей γ -лучей с помощью $Ge(Li)$ -детекторов.

2. Аппаратура

В зависимости от конкретной задачи (требования к эффективности и энергетическому разрешению) нами применялись различные детекторы, характеристики которых подробно рассмотрены в [1,2]. При создании и настройке спектрометров особое внимание уделялось следующим вопросам:

- а) оптимизации системы детектор-предусилитель [2];
- б) выбору оптимального значения постоянной формирования $\tau_{\text{опт}}$ как с точки зрения энергетического разрешения, так и с точки зрения максимально допустимой скорости счета;
- в) получению хорошей формы аппаратурной линии, что достигается применением "компенсации поляса нулем" и стабилизацией базовой ли-

нии биполярным формированием импульсов (эффект этих факторов показан на рис. 1).

На рис. 2 показана зависимость формы аппаратурной линии при измерении спектра γ -лучей ^{60}Co ($E_\gamma = 1332$ кэв) при разных τ и разных скоростях счета. Как видно, ширина линии на полувисоте не является критерием качества спектрометра. Более показательной характеристикой является ширина линии на $1/10$ высоты.

3. Эффекты, искажающие форму γ -спектров

В гамма-спектры, измеряемые на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторах, вносятся искажения:

- а) внешними эффектами, связанными с естественным радиоактивным фоном и рассеянным излучением от окружающих детектор материалов, а также с выбором геометрии измерений ^{/3,4/} (эффекты суммирования);
- б) эффектами, связанными с радиоактивными источниками: внутреннее и внешнее тормозное излучение и аннигиляционные γ -кванты.

Подавление этих эффектов желательно, однако не всегда возможно. Для систематического учета хотя бы некоторых из них требуется создание воспроизводимых условий измерений (телесный угол Ω и поглощающие фильтры). В наших спектрометрах телесный угол задается изменением расстояния источник-детектор с помощью специальных держателей из органического стекла - рис. 3. На этом же рисунке показаны форма источника и состав поглощающих фильтров.

4. Измерение энергий γ -лучей

Исследования спектров γ -лучей $^{23}\text{Na}(n\gamma)^{24}\text{Na}$ и $^{14}\text{N}(n\gamma)^{15}\text{N}$ показали, что $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектор является линейным элементом (в преде-

лах ± 1 кэв) в диапазоне энергий от 0,1 до 10 Мэв ^{/5/}. Следовательно, погрешность измерения энергий зависит от точности определения энергий калибровочных препаратов, от линейности аппаратуры и от методов обработки результатов измерений спектров γ -лучей ^{/5,6/}.

Энергии γ -лучей калибровочных препаратов известны в настоящее время с хорошей точностью. В табл. I собраны наиболее достоверные, на наш взгляд, значения энергий и интенсивностей гамма-лучей, применявшихся при калибровке спектров.

Обработка спектральных линий с помощью ЭВМ дает информацию о площадях и положениях максимумов фотопиков γ -лучей N_{max} , причем точность определения N_{max} достигает величины 10^{-3} ширины фотопика (в энергетических единицах - порядка нескольких эв). При энергетической калибровке обычно используют программы, в которых нелинейность спектрометрической системы описывают полиномом типа $E_\gamma = \sum_{k=0}^n a_k N_{\text{max}}^k$. В работе ^{/6/} показано, что для реальной системы нельзя добиться хорошей аппроксимации кривой нелинейности полиномом любой степени - рис. 4. Поэтому более корректным является тщательное измерение ее с помощью прецизионного генератора импульсов или с помощью γ -лучей калибровочных препаратов ^{/5/}. Нами применялся второй способ.

Измерения проводились на двух спектрометрических трактах (рис. 5) с различными $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами и с регистрацией на многоканальных анализаторах АИ-4096 и TRIDAC-C ^{/2/}. Кривая нелинейности строилась в предположении, что два произвольных пика разных энергий лежат на прямой, константы a и b которой находятся из уравнения $E_\gamma = aN_{\text{max}} + b$. Затем по этому уравнению рассчитывались положения остальных фотопиков и строилась зависимость $\Delta N = N_{\text{max}} - N_{\text{расч}}$ от номера канала N - рис. 6. При измерении на втором спектрометрическом тракте нелинейность системы не зависит от коэффициента усиления ЛУ (форма кривой сохраняется), и при выборе различных "начальных" пиков происходит поворот кривой в плос-

кости ΔNN . В случае же первого спектрометрического тракта форма кривой нелинейности зависит от коэффициента усиления ЛУ, что обусловлено, по-видимому, трудностями работы выходного каскада ЛУ с длинным кабелем ($R_{\text{К}} - 100 \sim 100$ м) и с согласованным входом АПД ($R_{\text{согл}} = 100$ ом). Поэтому для ЛУ первого тракта выбрано 3 коэффициента усиления и для каждого из них построена соответствующая кривая нелинейности.

Обработка фотопиков проводилась с помощью программы "КАТОК" /7/, в которой пики аппроксимируются распределением Гаусса. Для проверки применимости этой программы исследовалась форма пика полного поглощения. Для диапазона энергий от 100 кэВ до 2,7 МэВ получена хорошая симметрия (рис. 7), загрузка спектрометра при этом составляла $2 \cdot 10^4$ имп/сек. Для наглядности часть пиков приведена в логарифмическом масштабе.

Для измерения энергий γ -лучей применялась следующая методика:

а) измерялся спектр γ -лучей исследуемого и калибровочных препаратов;

б) максимумы пиков определялись на ЭВМ с помощью программы "КАТОК" /7/;

в) энергии измеряемых γ -лучей рассчитывались с помощью функции $E_{\gamma} = \alpha N'_{\text{max}} + \epsilon$, где N'_{max} - положение максимума пика, исправленное с учетом нелинейности данного спектрометрического тракта.

В процессе отработки методики принимались меры к сведению к минимуму возможных систематических ошибок, а именно:

а) определены пределы скорости счета спектрометрических трактов (зависимость энергетического разрешения на 1/2 и 1/10 высоты; сдвиг N'_{max});

б) измерения проводились на разных детекторах, спектрометрических трактах и при разных коэффициентах усиления.

Погрешности энергий γ -лучей E_i , определенных в одной серии измерений, вычислялись по формуле

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{iN_{\text{max}}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{кр.нел.}}^2},$$

где $\sigma_{iN_{\text{max}}}$ - погрешность определения положения максимума пика, $\sigma_{\text{сист}}$ - систематическая ошибка, обусловленная погрешностью определения энергии первичного репера ^{198}Au и равная

$$\sigma_{\text{сист}} = E_i \frac{0,007}{E_{\gamma}(^{198}\text{Au})} [\text{кэВ}] = E_i \cdot 19 \cdot 10^{-6} [\text{кэВ}].$$

$\sigma_{\text{кр.нел.}}$ равна среднеквадратичному отклонению значений энергии калибровочных γ -лучей с учетом их погрешностей, пересчитанных по вышеизложенной методике с использованием кривой нелинейности системы. По результатам всех серий измерений находилось средневзвешенное значение (веса брались как величины, обратно пропорциональные квадрату погрешности энергии σ_i).

Для проверки методики были определены энергии ^{60}Co до 1360 кэВ. Полученные данные (табл. 2) хорошо согласуются с результатами, приведенными в табл. 1. В табл. 2 представлены также полученные нами энергии сильных переходов ^{152}Eu , ^{226}Ra и ^{165}Yb (выше 170 кэВ), которые часто применяются как калибровочные источники при измерениях энергий γ -лучей радиоактивных нуклидов.

5. Измерение интенсивностей γ -лучей

Погрешность интенсивностей γ -лучей зависит от метода обработки результатов опыта, воспроизводимости условий и точности в определении интенсивностей γ -лучей калибровочных препаратов. В наших измерениях обработка пиков производится с помощью программы "КАТОК", и выше мы рассмотрели правомерность такого подхода.

В силу многократности процесса поглощения эффективность детектора зависит от геометрии измерений. Поэтому нами было выбрано по одному значению телесного угла для $Ge(Li)$ -детекторов объемом 0,5 и 37 см³ и построены соответствующие кривые эффективности - рис. 8. Измерения проводились с помощью абсолютно калиброванных источников, аттестованных с точностью 1-3%, а также с использованием хорошо известных значений относительных интенсивностей лучей ^{60}Co , ^{137}Ba , ^{182}Ta - табл. I.

Погрешности определения эффективности в диапазоне энергии 50 - 3300 кэВ равна $\pm 3\%$, в диапазоне 500-2800 кэВ - $\pm 2\%$.

В ходе отладки методики эксперимента принимались меры к исключению систематических ошибок, а именно:

а) определены оптимальные скорости счета спектрометрических трактов (точность определения площади пиков в зависимости от асимметрии);

б) опыты проводились на разных детекторах, и по результатам находилось среднее арифметическое;

в) особое внимание обращалось на наличие естественного радиоактивного фона (рис. 9), который заметно может исказить интенсивности слабых γ -лучей при длительных измерениях;

г) оценивались погрешности интенсивностей γ -лучей, искажаемых за счет "суммирования", обусловленного каскадными переходами.

С помощью данной методики определены относительные интенсивности сильных γ -линий при распаде ^{165}Yb , ^{152}Eu и ^{226}Ra .

6. Заключение

Проведен анализ спектрометрической системы с $Ge(Li)$ -детекторами, выбраны оптимальные условия работы, отработана методика для

измерения энергий и интенсивностей γ -лучей. При исследованных условиях точность определения энергий может достигать 10-30 эВ, а точность определения интенсивностей $\pm 2\%$.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить проф. К.Я. Громова за постоянный интерес к данной работе, а также С.А. Шестопалову за замечания при чтении рукописи.

Литература

1. Ц. Вылов, И.Н. Егосин и др. ОИЯИ, Р13-6759, Дубна, 1972.
2. В.С. Александров, Ц. Вылов и др. ОИЯИ, Р13-7306, Дубна, 1973.
3. Ц. Вылов, В. Гаджоков, Д. Енчев, М. Мишева, Г. Тумбев. Доклады Болгарской АН, 21, №3, 219, 1968.
4. Д.С. Андреев, К.И. Ерохина, В.С. Звонов, И.Х. Лемберг. ПТЭ, 5, 63, 1972.
5. R.L. Heath. Radioactivity in Nuclear Spectroscopy edd. J. Hamilton, v. 1, p.23, 1972.
6. C.M. Lederer. Radioactivity in Nuclear Spectroscopy edd. J. Hamilton, v.1, p.73, 1972.
7. В. Гаджоков. ПТЭ, 5, 82, 1970.
8. TRIDAC-C - Specifications and Operation, Intertechnique, 1971.
9. R.J. Gehzke and R.A. Lokken. Nucl. Instr. and Meth., 97, 219, 1971.
10. J. Konigh and W.A. Lingeman. Nucl. Instr. and Meth., 94, 389, 1971.

11. L.J.Jardine. Nucl. Instr. and Meth., 96, 259, 1971.
12. R.C.Greenwood, R.G.Helmer and R.J.Gehzke. Nucl. Instr. and Meth., 77, 141, 1970.
13. R.G.Helmer, R.G.Greenwood and R.J.Gehzke. Nucl. Istr. and Meth., 96, 173, 1971.
14. H.E.Bosch and A.J.Haverfield. Nucl.Phys., A180, 209, 1968.
15. W.G.Winn and D.G.Sarantites. Phys.Rev., C1, 215, 1970.
16. L.J.Jardine. LBL-246, 1971.
17. D.C.Camp, G.L.Meredith. Nucl.Phys., A166, 349 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
II июля 1973 года.

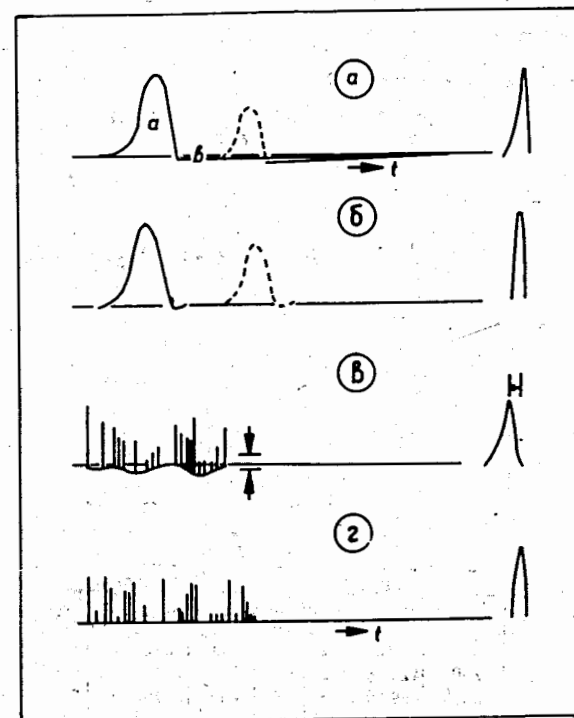


Рис. 1. Эффекты, приводящие к ухудшению спектральной линии, и их устранение: а) и б) - "компенсация полуса нулем"; в) и г) - флуктуации базовой линии.

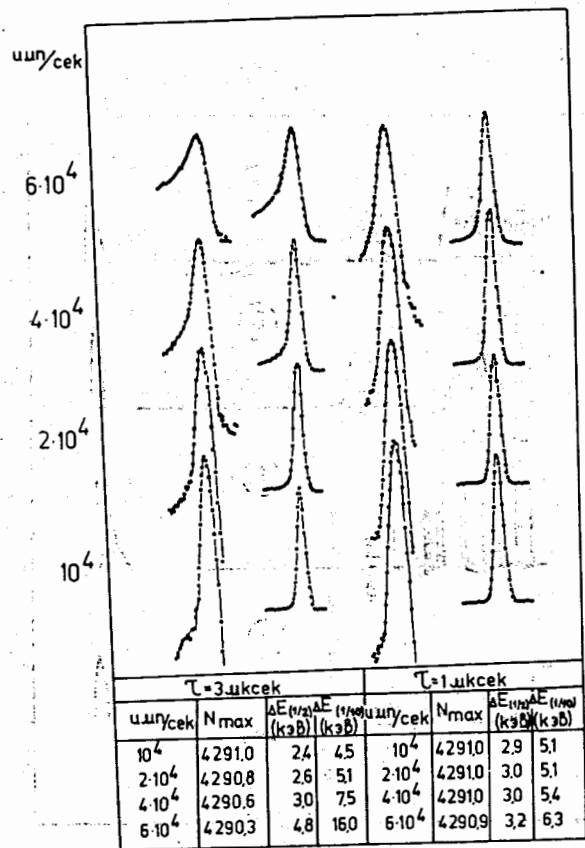


Рис. 2. Зависимость формы спектральной линии от скорости счета и постоянной формирующих цепей.

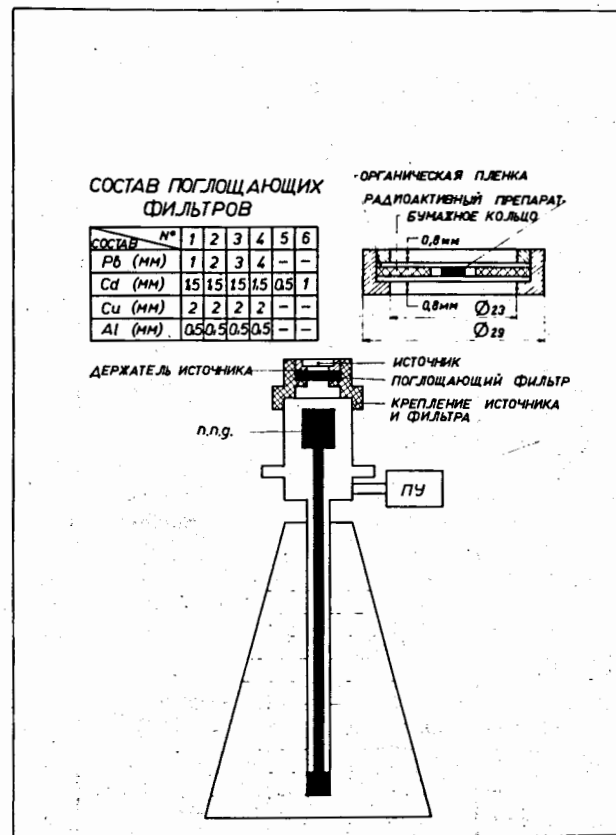


Рис. 3. Система крепления источника, форма источника и состав поглощающих фильтров для прецизионных измерений спектров γ -лучей радиоактивных нуклидов.

Табл. I. Энергии и интенсивности гамма-лучей, применяемых для калибровочных измерений спектров гамма-лучей. (а) - средневзвешенные значения).

Изотоп	Л-ра	$E_{\gamma} \pm \Delta E_{\gamma}$ (кэВ)	Л-ра	$I_{\gamma} \pm \Delta I_{\gamma}$	Изотоп	Л-ра	$E_{\gamma} \pm \Delta E_{\gamma}$ (кэВ)	Л-ра	$I_{\gamma} \pm \Delta I_{\gamma}$		
137 Cs 329 ± 0,3	9	11897 ± 0,004	9	225 ± 0,20	182 Та	12	198359 ± 0,005 а)	11	415 ± 0,11		
		L _K 13,9		351 ± 2,5			232406 ± 0,004 а)		2130 ± 0,56		
		L _L 17,8		532 ± 3,8			228318 ± 0,008 а)		1027 ± 0,27		
		L _M 20,8		133 ± 1,0			264068 ± 0,008 а)		1010 ± 0,26		
		26345 ± 0,001		8,2 ± 0,5			1121272 ± 0,026		100		
57 Co	10	14408 ± 0,005	10	97 ± 0,4	133 Ba	14	1189022 ± 0,027...	-74 ± 0,7			
2716 ± 0,52	122061 ± 0,010	852 ± 0,4	1221376 ± 0,027	79,3 ± 1,2							
203 Hg 468 ± 0,23	12	K _K 72,9 K _L 82,5 279189 ± 0,006 а)	11	9,7 ± 0,5 2,8 ± 0,2 8155 ± 0,15			5	K _K 308 K _L 35,3	14	1200 ± 0,0	
											339 ± 2,3
											378 ± 0,09
113 Sn 1152 ± 0,82	12	391,689 ± 0,010	—	—	5	80997 ± 0,008	674 ± 4,2				
137 Cs 305 ± 0,3	13	K _K 321 K _L 36,5 664,639 ± 0,019	11	5,7 ± 0,2 1,3 ± 0,1 851 ± 0,4	5	160,633 ± 0,027 а)	121 ± 0,05				
54 Mn 3126 ± 0,32	13	834,827 ± 0,021	—	—	5	223,120 ± 0,040 а)	0,808 ± 0,042				
88 Y 1074 ± 0,08	11	898,021 ± 0,023 а) 1836,129 ± 0,031 а)	11	914 ± 0,7 99 ± 0,1	5	276,398 ± 0,012	11,61 ± 0,17				
60 Co 528 ± 0,01	13	1173,208 ± 0,025	11	9987 ± 0,05	56 Co 178	17	302,849 ± 0,015 356,004 ± 0,017 383,850 ± 0,020	17	100		
22 Ne 2602 ± 0,005	13	1332,501 ± 0,021 а)	—	—						84678 ± 0,06	
40 K 1,28 · 10 ⁶ А	11	1274,511 ± 0,028	—	—						97746 ± 0,05	
228 Th 30	5	2614,61 ± 0,06	—	—						1037,83 ± 0,07	
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22						1175,13 ± 0,08	
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	1238,28 ± 0,04						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	1360,22 ± 0,07						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	1771,49 ± 0,06						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	2015,36 ± 0,05						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	2034,92 ± 0,06						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	2598,58 ± 0,08						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	3010,20 ± 0,23						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	3202,30 ± 0,16						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	3253,60 ± 0,16						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	3273,25 ± 0,16						
182 Та 115	12	84,678 ± 0,021 100,103 ± 0,002 а) 113,671 ± 0,002 а) 116,416 ± 0,003 а) 152,432 ± 0,003 а) 156,385 ± 0,003 а) 179,350 ± 0,004 а)	16	76 ± 0,4 40,2 ± 1,0 — — 205 ± 0,51 763 ± 0,19 881 ± 0,22	3451,55 ± 0,20						

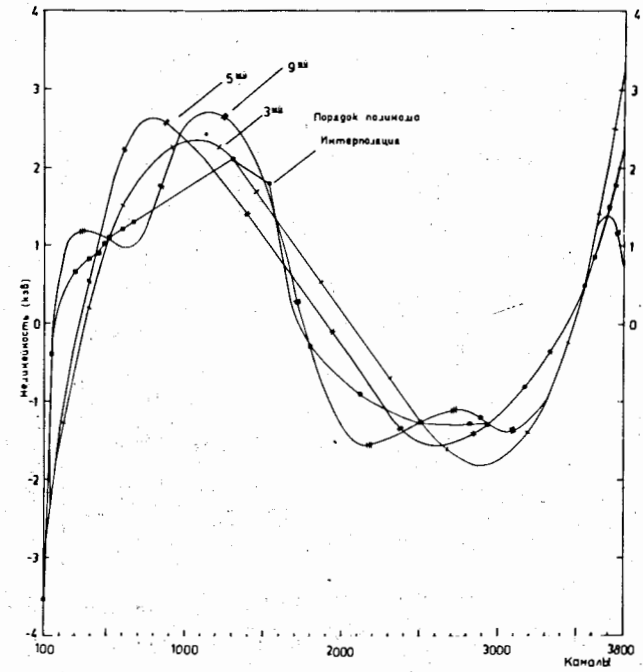


Рис. 4. Энергетическая калибровка β -лучей с помощью полинома типа $E_{\beta} = a N_{\max} + b$.

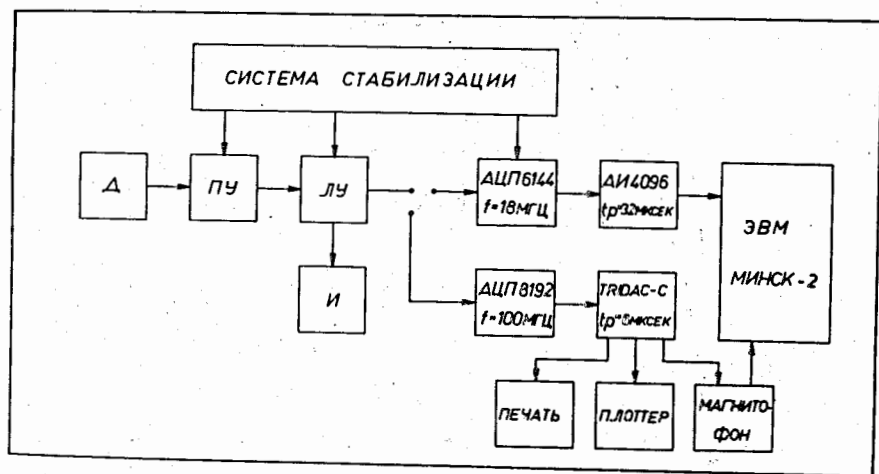


Рис. 5. Спектрометрическая система для измерения энергий и интенсивностей γ -лучей радиоактивных нуклидов.

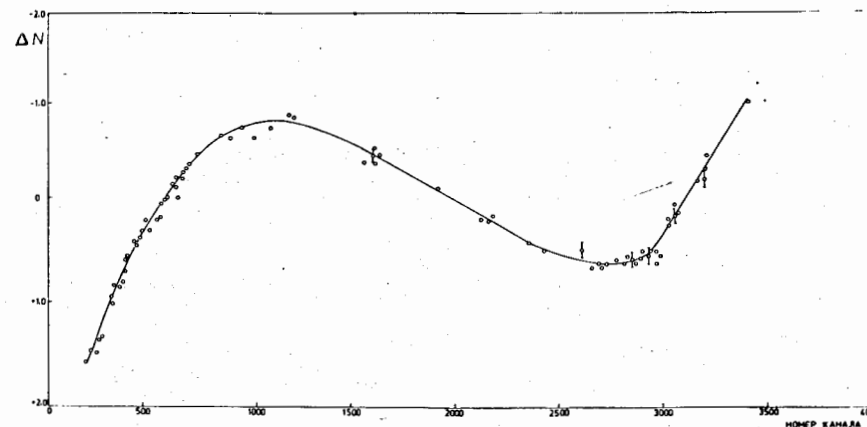


Рис. 6. Кривая экспериментального определения линейности спектрометрической системы с помощью ^{56}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{122}Ta , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{57}Co , ^{203}Hg , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{88}Y , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{22}Na , снятая для спектрометрического тракта с регистрацией на TRIDAC-S для трех коэффициентов усиления.

Табл.2. Энергии и интенсивности сильных гамма-переходов

^{56}Co , ^{152}Eu , ^{152}Eu и ^{226}Ra .

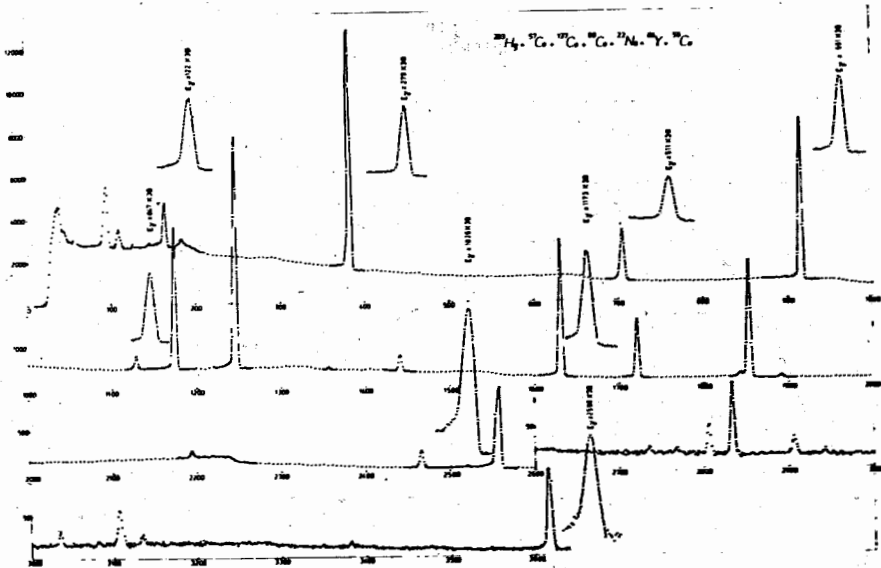
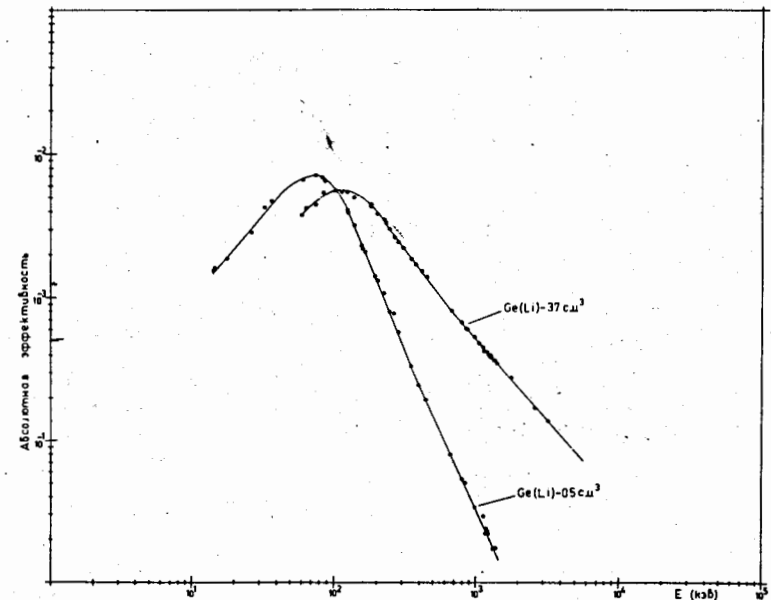


Рис. 7. Зависимость формы спектральной линии от энергии γ -лучей.

Рис. 8. Эффективность регистрации γ -лучей с помощью Ge(Li) -детекторов объемом $0,5 \text{ см}^3$ и 37 см^3 .

Источ-ник	Δ		Источ-ник	Δ	
	$E_{\gamma} \pm \Delta E_{\gamma}$ (кэВ)	$I_{\gamma} \pm \Delta I_{\gamma}$		$E_{\gamma} \pm \Delta E_{\gamma}$ (кэВ)	$I_{\gamma} \pm \Delta I_{\gamma}$
^{56}Co	145,749 \pm 0,120	-	^{152}Eu	770,196 \pm 0,116	46,0 \pm 1,0
	177,357 \pm 0,060	-		867,365 \pm 0,021	15,47 \pm 0,30
	1037,637 \pm 0,031	-		964,030 \pm 0,024	53,5 \pm 1,2
	1238,480 \pm 0,030	-		1063,041 \pm 0,027	37,3 \pm 0,8
	1360,194 \pm 0,040	-		1169,76 \pm 0,11	5,97 \pm 0,20
^{152}Eu	63,1	112,7 \pm 3,4	^{152}Eu	1112,064 \pm 0,030	50,0 \pm 1,1
	93,6	6,9 \pm 0,3		1406,044 \pm 0,035	77,6 \pm 1,7
	109,8	45,6 \pm 1,4		^{226}Ra	106,196 \pm 0,012
	116,2	4,53 \pm 0,19	241,365 \pm 0,011		16,0 \pm 0,5
	130,5	31,1 \pm 1,0	295,194 \pm 0,013		40,6 \pm 1,2
	177,100 \pm 0,009	61,7 \pm 1,25	351,507 \pm 0,013		7,2 \pm 1,6
	197,520 \pm 0,010	1,0	605,204 \pm 0,017		1,0
	261,045 \pm 0,028	4,95 \pm 0,10	760,333 \pm 0,020		10,24 \pm 0,30
	307,722 \pm 0,015	23,2 \pm 0,6	934,077 \pm 0,035		6,85 \pm 0,20
	^{152}Eu	121,792 \pm 0,009	116,6 \pm 3,3	1120,240 \pm 0,027	32,7 \pm 0,9
244,668 \pm 0,012		27,9 \pm 0,8	1238,079 \pm 0,035	12,8 \pm 0,4	
295,089 \pm 0,035		1,64 \pm 0,17	1377,744 \pm 0,035	8,5 \pm 0,4	
344,272 \pm 0,012		1,0	1385,360 \pm 0,040	1,43 \pm 0,12	
367,776 \pm 0,015		3,26 \pm 0,13	1729,735 \pm 0,040	6,62 \pm 0,20	
411,131 \pm 0,015		7,94 \pm 0,17	1764,650 \pm 0,050	34,4 \pm 0,7	
443,958 \pm 0,026		11,26 \pm 0,23	2118,030 \pm 0,070	2,60 \pm 0,10	
			2204,135 \pm 0,050	10,49 \pm 0,30	
			2447,775 \pm 0,080	3,33 \pm 0,11	



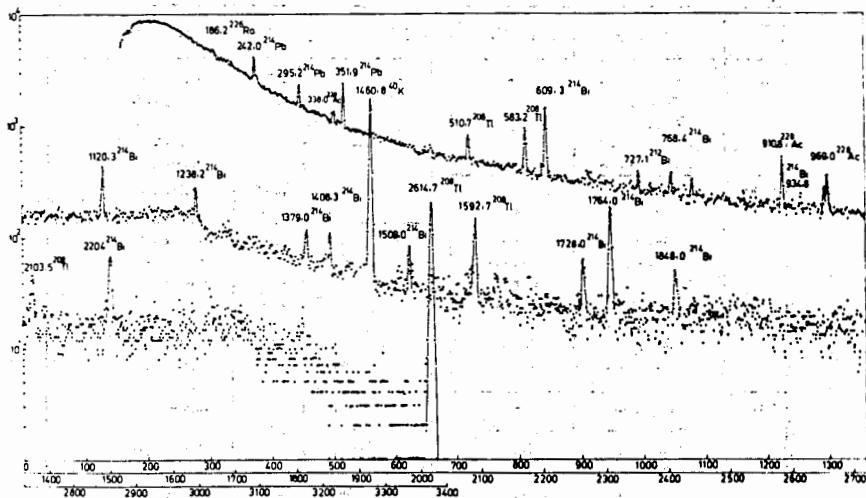


Рис. 9. Спектр гамма-лучей радиоактивного фона, измеренного $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором 37 см^3 за 12 часов.